

**No title available.**

Patent Number: ☐ DE3942048  
Publication date: 1990-08-09  
Inventor(s): PRATT VANON DAVID (US); WHITNEY ERIC JAMES (US); COOPER ERNEST BROWN (US); ALESHIN STEPHEN (US)  
Applicant(s):: GEN ELECTRIC (US)  
Requested Patent: CA2009127  
Application Number: DE19893942048 19891220  
Priority Number (s): US19890307796 19890208  
IPC Classification: B23K26/14 ; B23K35/30 ; B23K35/32  
EC Classification: B05B7/22C, B23K26/14B  
Equivalents: AU4588889, ☐ FR2648068, ☐ GB2227964, ☐ JP2258186, SE9000443

**Abstract**

Laser welding apparatus includes a laser whose beam is focused to a focal point above, below, or at the surface of the welding substrate with a power density sufficiently high to melt a portion of the substrate to form a weld puddle. A laser welding nozzle delivers powder to the weld puddle uniformly around its circumference from a power feed system, and an axial gas flow system flows gas through the nozzle toward the substrate to modify the powder flow and protect the apparatus from damage by the intense heat. The laser welding nozzle preferably includes outer 30 and inner 40 frustoconical housings that define an annulus 44 therebetween, and powder mixed with a fluidizing gas is metered through the annulus and to the weld

puddle 62, where it later solidifies to form a weld bead. 

Data supplied from the esp@cenet database - I2



DEUTSCHES  
PATENTAMT

②① Aktenzeichen: P 39 42 048.5  
②② Anmeldetag: 20. 12. 89  
②③ Offenlegungstag: 9. 8. 90

DE 3942048 A1

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
08.02.89 US 307796

⑦① Anmelder:  
General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

⑦④ Vertreter:  
Schüler, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 6000  
Frankfurt

⑦② Erfinder:  
Pratt, Vanon David, Hamilton, Ohio, US; Whitney,  
Eric James; Cooper, Ernest Brown; Aleshin,  
Stephen, Cincinnati, Ohio, US

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zum Laserschweißen

Eine Laserschweißvorrichtung umfaßt einen Laser, dessen Strahl in einem Brennpunkt oberhalb, unterhalb oder auf der Oberfläche des zu schweißenden Substrats mit einer Leistungsdichte fokussiert wird, die so hoch ist, daß ein Teil des Substrats zur Ausbildung eines Schweißbades geschmolzen wird. Eine Laserschweißdüse liefert gleichförmig um den Schweißbadumfang Pulver ins Schweißbad, das der Düse über eine Pulverzufuhranordnung zugeführt wird. Eine Anordnung für eine axiale Gasströmung strömt Gas durch die Düse auf das Substrat hin, um den Pulverstrom zu modifizieren und die Vorrichtung vor Zerstörung durch intensive Wärme zu schützen. Vorzugsweise umfaßt die Laserschweißdüse ein äußeres und inneres kegelstumpfförmiges Gehäuse mit einem dazwischen definierten ringförmigen Raum, wobei mit fluidisierendem Gas gemischtes Pulver durch diesen Ringraum dosiert wird und dem Schmelzbad zugeführt wird, wo es später zur Ausbildung eines aufgetragenen Schmelzmaterials erstarrt.

DE 3942048 A1

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft Schweißprozesse, in denen einer Schweißung bzw. einem Schweißbad Material zugeführt wird und insbesondere solche Prozesse, in denen die Energie zum Schweißen des Substrats und des eingespeisten Materials durch eine Laser zugeführt wird.

Schweißen ist ein Prozeß, in dem zwei oder mehr Materialstücke zusammengefügt werden. Bei einer sehr gebräuchlichen Schweißart wird ein Schweißbrenner dazu verwendet, die sich gegenüberliegenden Flächen zweier Teile zu schmelzen und die sich gegenüberliegenden Flächen werden zusammengeschmolzen. Ein Zusatzmetall oder Einspeisungs- oder Zufuhrmaterial kann in den geschmolzenen Bereich eingebracht werden, um der Schweißstelle bestimmte Eigenschaften zu verleihen oder einen Teil des verbundenen Bereichs zu bilden. Ganz allgemein kann eine Schweißung auch durch Festkörperv Verfahren wie z. B. Diffusionsbondierung erzielt werden, jedoch müssen gemäß der engeren Auffassung des Schweißbegriffs, der hier zugrundegelegt wird, beide zusammenzufügenden Materialien zumindest teilweise geschmolzen werden.

Bei einer anderen Art der Schweißung, der sogenannten Beschichtungsschweißung, wird auf ein Substrat eine Oberflächenschicht aufgebracht, indem ein Bereich an der Oberfläche des Substrats geschmolzen wird, ein Zuführungsmaterial in das Schmelzbad eingebracht wird, mit dem Ergebnis, daß dort eine Vermischung und Verschmelzung des eingespeisten Materials und des Substrats stattfindet, und indem man anschließend das geschmolzene Material erstarren läßt. Diese Technik wird weitverbreitet für zahlreiche Anwendungen benutzt, wobei sie häufig dazu dient, harte Oberflächen wie verschleißfeste Überzüge, sogenannte Coatings, auf weichere Substratmaterialien auszubringen, oder um abgetragene, beschädigte oder zunächst zu klein hergestellte Gegenstände aufzubauen, d. h. mit entsprechenden Schichten zu versehen oder zu reparieren. Die vorliegende Erfindung befaßt sich hauptsächlich mit der Oberflächenschweißung, kann jedoch auch bezüglich anderer Schweißmöglichkeiten verwendet werden.

Zahlreiche Arten von Energiequellen sind bislang verwendet worden, um ausreichende Energie zum Schmelzen des Substrats und Einspeisungsmaterials in den Schweißprozessen zu erzeugen. Entladungsbogen und Schweißbrenner stellen die geläufigsten, verwendeten Schweißmittel dar. Ferner wird durch Reibung erzeugte Wärme für das Reibungsschweißen verwendet.

Erst in letzter Zeit wurde auch die durch einen Laser erzeugbare intensive Wärme bei Schweißprozessen zum Schmelzen der Substrate und der eingespeisten Materialien angewandt. Die US-Patente 42 00 669, 47 30 093 und 47 43 733, deren Offenbarung bezugsmäßig in dieser Anmeldung inkorporiert ist, beschreiben Laserschweißvorgänge. In jedem beschriebenen Fall wird der Ausgangsstrahl eines Industrielasers an einem Punkt nahe oder innerhalb des Substrats fokussiert, so daß die betroffenen bzw. dazwischenliegenden Oberflächenbereiche des Substrats durch den fokussierten Laserstrahl erhitzt und geschmolzen werden. Es kann in den Laserstrahl oder das Schmelzbad, wenn erforderlich, ein Einspeisungsmaterial eingebracht werden. Die große Vielseitigkeit, die durch die Lasererhitzung zur Verfügung steht, hat dazu geführt, daß Laser in Schweißprozessen oder anderen Metallbearbeitungsvorgängen weitverbreitet benutzt werden.

Es wurde gezeigt, daß die Laserschweißung ein betriebsfähiges Verfahren darstellt, jedoch bei einigen Anwendungen in der Praxis sich als nicht befriedigend und unzulänglich erwies. Die in der US 42 00 669 gezeigte Vorrichtung injiziert einen Pulvereinspeisungsmaterialstrom in den Strahl. Die präzise Steuerung des Pulvers in bezug auf den Strahl ist sehr schwierig. Die in der US 47 30 093 und der US 47 43 733 dargestellten Lösungen liefern zwar eine grundsätzliche Verbesserung der Steuerbarkeit, verwenden jedoch eine Richtungskomponente für die Pulvereinspeisung. Das heißt, falls die Relativbewegung des Laserstrahls und Substrats so wie in Fig. 5 der US 47 30 093 gezeigt ist, so wird Pulver von hinten in die Schweißung eingebracht. Ist die Relativbewegung jedoch aus der Zeichenebene gerichtet, so wird das Pulver von der Seite in die Schmelzung eingebracht, es sei denn, eine entsprechende Bewegungseinrichtung bzw. ein entsprechender Schlitten sind vorgesehen, um die Pulvereinspeisungsleitung zu verschwenken. Das Ergebnis ist eine Schweißung, deren Eigenschaften von den relativen Bewegungsrichtungen des Substrats und der Wärmequelle abhängen.

Es besteht daher ein Bedarf an einem verbesserten Laserschweißverfahren sowie einer entsprechenden Vorrichtung, die zwar die Vorteile der früheren Laserschweißtechniken beinhalten, jedoch eine verbesserte Steuerung der Pulvereinführung sowie eine verbesserte Qualität der endgültigen Struktur des bearbeiteten Werkstücks zeigen. Die Erfindung löst die Aufgabe, diesen Bedarf zu decken und liefert darüber hinaus im folgenden erläuterte Vorteile.

Die vorliegende Erfindung schafft eine Laserschweißvorrichtung, in der die Erwärmung des Substrats steuerbar ist und die Einleitung des Einspeisungsmaterials nicht gerichtet und richtungsabhängig ist. Der Schweißcharakter bleibt deshalb unverändert, wenn die Richtung der Relativbewegung von Schweißvorrichtung und Substrat geändert wird. Es besteht kein Bedarf, an Kanten oder Ecken einzuhalten oder die Vorbeiführungsrate des Schmelzkopfes zu ändern, wodurch eine weitere der bekannten die Schweißqualität beeinträchtigenden Variablen vermieden ist. Die Vorrichtung ist kompakt und kann innerhalb eines beschränkten Raums angeordnet und eingepaßt werden. Die Einspeisung des Materials wird präzise gesteuert und entsprechend den Notwendigkeiten variiert, und der Einleitungspunkt des Pulvers relativ zum Schweißbad und Brennpunkt des Laserstrahls ist in einfacher Weise steuerbar.

Die erfindungsgemäße Laserschweißvorrichtung zum Aufbringen oder Abscheiden eines Einspeisungsmaterials auf einem Substrat umfaßt einen Laser, ferner Einrichtungen zum Fokussieren des Laserstrahls auf einen Brennpunkt ausreichend nahe an der Oberfläche des Substrats, um eine Region des Substrats zu schmelzen und hierdurch ein Schmelzbad oder Schweißbad auszubilden. Ferner sind Einrichtungen zum Zuführen des Einspeisungsmaterials in das Schweißbad vorgesehen, wobei diese Einführung um den Umfang oder Umkreis des Bads herum gleichmäßig und gleichförmig erfolgt. Vorzugsweise umfassen die Einrichtungen zum Zuführen des Pulvers eine Düse, die ein Außengehäuse und Innengehäuse aufweist, die einen konvergierenden ringförmigen Durchgang oder Durchtrittsbereich zwischen ihren Wandungen definieren, wobei das Einspeisungsmaterial dieser Düse am divergierenden Ende des Durchgangs zugeführt wird und auf das konvergierende Ende des Durchgangs hin gefördert wird. Auf diese Weise wird das Einspeisungsmaterial gleichmäßig um

den Umfang des Schweißbades herum zugeführt, und es wird keine Richtungsabhängigkeit beim Schweißen beobachtet, wenn die Richtung der Relativbewegung der Vorrichtung und des Substrats geändert wird.

Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel umfaßt die Laserschweißvorrichtung eine Düse mit einem kegelstumpfförmigen Außengehäuse und einem kegelstumpfförmigen Innengehäuse schmalerer Konusausmaße als das Außengehäuse, wobei das Innengehäuse sich in das Außengehäuse so einpaßt, daß die Konusachsen beider Gehäuse zusammenfallen und Außengehäuse und Innengehäuse einen konvergierenden ringförmigen Durchgang zwischen sich definieren. Der Strahl des verwendeten Lasers wird mit einem optischen System so entlang der Kegelstumpfachse von Außen- und Innengehäuse gerichtet, daß der Brennpunkt des Stahls außerhalb der Düse liegt. Eine Gaszufuhranordnung kommuniziert mit dem Innern des inneren Gehäuses und erzeugt eine Gasströmung vom Innengehäuse zum Brennpunkt des Lasers hin. Ein Einspeisungssystem, das mit dem ringförmigen Durchgang zwischen Innen- und Außengehäuse kommuniziert, ist dazu ausgelegt, eine Strömung oder einen Fluß feinzerteilten Einspeisungsmaterials, das mit einem Trägergas gemischt ist, in diesen Durchgang einzuleiten.

Die vorliegende Erfindung betrifft darüber hinaus ein Verfahren zum Laserschweißen mit zugeführten Einspeisungsmaterial. Das erfindungsgemäße Verfahren umfaßt ein Verfahren zum Aufbringen einer Schicht eines Einspeisungsmaterials auf einem Substrat und umfaßt die Schritte der Einstellung und Einrichtung eines Lasers und eines optischen Systems in der Weise, daß der Laserstrahl auf einen Brennpunkt fokussiert wird, der ausreichend nah an der Oberfläche des Substrats ist, daß eine Region des Substrats zur Ausbildung eines Schweißbades geschmolzen wird. Ferner wird feinzerteiltes Einspeisungsmaterial in das Schmelzbade eingebracht, wobei das Einspeisungsmaterial gleichmäßig um den Umkreis des Schweißbades hinzugefügt wird.

Die vorliegende Erfindung sieht einen Laser und ein optisches System vor, das den Laserstrahl auf einen Brennpunkt ausreichend nah an der Oberfläche des Substrats zur Schmelzung von Oberflächenbereichen des Substrats zur Ausbildung eines Schweißbades fokussiert. Der tatsächliche Brennpunkt des Lasers kann unterhalb oder oberhalb der Substratoberfläche liegen oder mit dieser zusammenfallen, jedoch ist in jedem Fall die Leistungsdichte in der Region des Brennpunkts ausreichend hoch, um das Substratmaterial zu schmelzen. Ein Umfangsgehäuse, das am Ende des optischen Systems befestigt ist, schließt den Laserstrahl umkreisförmig ein. Das Gehäuse umfaßt ein Innengehäuse und ein Außengehäuse mit nach unten und nach innen geneigtem, zwischen den Gehäusen definiertem ringförmigem Durchgang. In einer Gasströmung fluidisiertes Pulver wird am oberen Ende des Rings durch diskrete Einlaßöffnungen eingespeist und wird um den Ring beim Herabfallen verteilt. Eine innere Wandung innerhalb des Rings kann vorgesehen werden, um die Umfangsspulverteilung zu verbessern. Sind eine solche Wandung oder Stauereinrichtung vorgesehen, so tritt das Pulver durch diese Öffnungen in das hinter der Stauereinrichtung vorhandene Stauvolumen ein und läuft später in einem umkreismäßig gleichförmigen Bewegungsmuster über die Stauereinrichtung über. Die konvergierende Öffnung am unteren Ende des ringförmigen Durchgangs richtet das Pulver auf das geschmolzene Schweißbad. Das Pulver kann in den Laserstrahl eintreten, bevor es das

Schweißbad erreicht, so daß das Pulver teilweise oder vollständig geschmolzen ist, wenn es in das Schweißbad eintritt.

Eine Strömung axialen Gases strömt durch das Innengehäuse und auf das Substrat hin. Diese Axialgasströmung verhindert eine Beschädigung des optischen Systems und Lasers, indem es als Barriere für Schweißspritzer und Rauchentwicklungen dient. Ferner trägt die Axialgasströmung dazu bei, daß ein Plasma nahe des Brennpunkts vom Laser gebildet wird, wenn die Laserstrahlenenergiedichte ausreichend hoch zur Erzeugung eines Plasmas durch Ionisieren von Gasatomen und verdampften Atomen des Einspeisungsmaterials und Substratmaterials ist. Die Axialgasströmung richtet darüber hinaus das Einspeisungsmaterial auf das Substrat und das Schweißbad, wo das Metall abgeschieden oder aufgebracht wird. Die erwärmten oder geschmolzenen Tropfen des Einspeisungsmaterials mischen sich mit dem geschmolzenen Material des Schweißbades, und die Mischung in der Schweißung erstarrt als aufgetragenes Material (Schweißbraupe), das typischerweise über die ursprüngliche Oberfläche des Substrats infolge der hinzugefügten Einspeisungsmaterialmasse übersteht.

Die Düsenanordnung der vorliegenden Erfindung gestattet die Einspeisung einer kontrollierten Strömung und Strömungsmenge von Pulver in das Schweißbad. Die Massenströmung des Pulvers wird variiert, indem die Strömungsraten von Pulver und fluidisierendem Gas im Pulvereinspeisungssystem gesteuert werden. Das Pulver wird durch den ringförmigen Durchgang gleichförmig um den Umkreis des Schweißbades herum verteilt eingeleitet. Normalerweise ist der Laserstrahl senkrecht auf das Substrat gerichtet. Bei der erfindungsgemäßen Düse erfordert eine Änderung der Richtung der Relativbewegung des Strahls über die Oberfläche des Substrats weder irgendeine Einstellung des Pulvereinspeisungsmechanismus noch die Änderung der Geschwindigkeit der Relativbewegung, um die Einstellung des Einspeisungsmechanismus zu ermöglichen. Darüber hinaus ist die erfindungsgemäße Vorrichtung außerordentlich kompakt und in einem leicht handhabbaren und betätigbaren Bauteil enthalten, wodurch der Einsatz der Laserschweißvorrichtung in Produktionsstätten gefördert ist.

Im folgenden wird die Erfindung an Hand der Zeichnungen und einiger bevorzugter Ausführungsbeispiele, die ihre Prinzipien verdeutlichen, näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 eine Aufrißansicht der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einem in Schnittrichtung dargestellten Laserstrahlengang,

Fig. 2 eine seitliche Schnittrichtung einer Schweißdüse der Vorrichtung aus Fig. 1 und

Fig. 3 eine ähnliche Ansicht wie Fig. 2, eines weiteren Ausführungsbeispiels der Erfindung, das eine Pulverströmungssteuer-Stauereinrichtung enthält.

Die vorliegende Erfindung ist in einer Laserschweißvorrichtung 10 inkorporiert, die in einer Übersichtsdarstellung in Fig. 1 gezeigt ist. Die Vorrichtung oder das Gerät 10 umfaßt einen Laser 12 mit einem Strahl 13, der, wenn mit Hilfe eines optischen Systems 14 fokussiert, eine ausreichende Leistungsdichte aufweist, um einen Teil eines angrenzenden Substrats 16 zu schmelzen und um eine Einspeisungsmenge von feinzerteiltem Einspeisungs- oder Zufuhrmaterial zu schmelzen (oder zu erwärmen). Der Strahl 13 des Lasers 12, der eine Strahlachse 18 aufweist, wird vom optischen System 14 konvergent auf einen Brennpunkt 15 fokussiert. Im in Fig. 1

dargestellten Ausführungsbeispiel wird die konvergierende Fokussierung mit Hilfe eines Hohlspiegels 17 erzielt, jedoch kann ebenso eine Linse verwendet werden. Nach Austritt aus dem optischen System 14 tritt der Strahl 13 in eine Schweißdüse 20 ein, deren Struktur und Funktionsweise weiter unten detaillierter erläutert wird. Die Düse 20 bringt feinzerteiltes Einspeisungsmaterial in den geschmolzenen Teil oder Abschnitt des Substrats, wo das feinzerteilte Einspeisungsmaterial geschmolzen wird. Das Einspeisungsmaterial mischt sich mit dem geschmolzenen Substratmaterial und erstarrt schnell in Form eines aufgetragenen Materials oder auch sogenannten Schweißraupe 22, sowie die Wärme aus dem darunterliegenden nichtgeschmolzenen Substrat entfernt wird. Der Arbeitsabstand von der Spitze der Düse 20 zum Substrat beträgt typischerweise ungefähr 5,1 mm (0,2 inches). Die Strömung des Einspeisungsmaterials ist schmal, in einheitliche Richtung gerichtet und parallel ausgerichtet (kollimiert), und die Düse 10 befindet sich nahe am Substrat 16.

Die in Fig. 2 gezeigte Düse 20 umfaßt ein Außengehäuse 30, das an ein Ende des optischen Systems 14 mit Schraubverbindung angefügt ist, so daß die Mittenachse 32 des Gehäuses 30 mit der Strahlachse 18 des Lasers zusammenfällt. Das Gehäuse 30 ist hohl, so daß der Laserstrahl 13 am optischen System 14 befestigten Ende eintreten kann, entlang der Mittenachse 32 durch das Gehäuse hindurchtreten und am anderen Ende des Gehäuses wieder austreten kann. Die Schraubverbindung gestattet, daß das Außengehäuse 30 einstellbar vom optischen System 14 weg und auf das optische System zu bewegt werden kann, wobei die Mittenachse 32 des Gehäuses 30 koinzident mit der Strahlachse 18 des Lasers 12 bleibt. Diese Einstellbarkeit ermöglicht, daß die Position des Brennpunkts 15 vom Laser bezüglich des Gehäuses 30 einstellbar axial bewegt werden kann, ohne daß das optische System ausgetauscht wird. Die äußere Fläche des Außengehäuses 30 folgt im wesentlichen einer irregulären Kegelstumpfform. Vorzugsweise sind einige Windungen 36 einer Röhre auf der Außenfläche des Außengehäuses 30 befestigt, wobei diesen Rohrwindungen über Kühlwasserleitungen 37 Kühlwasser zugeführt wird. Die Innenfläche des äußeren Gehäuses 30 umschreibt eine Kegelstumpfoberfläche 34 an der Befestigungsstelle am dem optischen System 14 abgewandten Ende des Gehäuses.

Innerhalb des Außengehäuses 30 ist ein Innengehäuse 40 angeordnet und über eine Schraubverbindung mit dem Außengehäuse verbunden. Das Innengehäuse 40 ist ebenfalls hohl und weist dieselbe Mittenachse 32 wie das Außengehäuse 30 auf. Der Laserstrahl 13 breitet sich demgemäß entlang der Mittenachse 32 durch das Innengehäuse 40 aus. Die Schraubverbindung von Innengehäuse 40 und Außengehäuse 30 gestattet, daß die axiale Stellung der beiden Gehäuse relativ zueinander einstellbar ist, wodurch die Größenabmessungen eines weiter unten erläuterten ringförmigen Durchgangs oder Durchtrittshohlraums änderbar sind. Das Innengehäuse 40 umfaßt eine kegelstumpfförmige Oberfläche 42 am vom optischen System 14 abgewandten Ende und benachbart zur kegelstumpfförmigen Oberfläche 34 des Außengehäuses 30. Die beiden kegelstumpfförmigen Oberflächen 34 und 42 liegen einander im wesentlichen gegenüber und definieren einen konvergierenden dazwischenliegenden ringförmigen Durchgang 44. Eine relative Axialbewegung von Innen- und Außengehäuse zueinander vergrößert oder vermindert den Flächenbereich dieses ringförmigen Durchgangs oder Durchtritts-

hohlraums.

Vorzugsweise beträgt der halbe Konuswinkel der kegelstumpfförmigen Fläche 34 des Außengehäuses 2 bis 10° mehr als der entsprechende Konushalbwinkel der kegelstumpfförmigen Oberfläche 42 des Innengehäuses, so daß der ringförmige Durchgang in der Umgebung einer Austrittsstelle 46 leicht konvergiert. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel beträgt der Halbkonuswinkel der Oberfläche 34 zwischen ungefähr 20° bis 45°, bevorzugt zwischen 30° bis ungefähr 35°, und der Konushalbwinkel der Oberfläche 42 liegt zwischen etwa 20° bis 35°, beträgt jedoch 2° bis 10° weniger als der Konushalbwinkel der Oberfläche 34. Der konvergierende Charakter des ringförmigen Durchgangs 44 bewirkt, daß die Strömung des eingespeisten Pulvers in den verschiedenen Bereichen des Rings auf einen gemeinsamen Konfluenzpunkt, d. h. Zusammenflußpunkt, fokussiert wird, der längs der Mittenachse 32 liegt und infolgedessen mit der Laserstrahlachse 18 zusammenfällt. Eine der steuerbaren Parameter der Vorrichtung 10 ist die relative Lage des Strahlbrennpunkts 15 und des Punkts, an dem die Strömung des Pulvers die Mittenachse 32 schneidet. In einigen Fällen ist für bestimmte Betriebsbedingungen wünschenswert, daß der Laserstrahlbrennpunkt 15 mit dem Konfluenzpunkt der Pulverströmung zusammenfällt, jedoch sind andere Fälle möglich, bei denen die beiden Punkte nicht zusammenfallen sollen. Im normalen Betrieb wird das Pulver zum geschmolzenen Bereich des Substrats hin gerichtet, und der Laserstrahl wird oberhalb, unterhalb oder an der Substratoberfläche fokussiert.

Feinzerteiltes Einspeisungsmaterial, vorzugsweise in Pulverform, wird in die Vorrichtung 10 über den ringförmigen Durchgang 44 an dessen oberem oder divergierendem Ende eingespeist. Ein Pulvereinspeisungssystem umfaßt eine Pulverquelle und einen nicht dargestellten fluidisierenden Mechanismus, der Pulver über eine Pulverzufuhrrohre 50 zu mehreren Pulvereinspeisungsrohren 53 leitet. Das fluidisierte (fließbettartig transportierte) Pulver strömt durch die Röhren 53 durch eine Anzahl, typischerweise 2 oder 4, diskreter Injektionsöffnungen 54, die symmetrisch am Kopf des ringförmigen Durchgangs 44 bezüglich der Austrittsstelle 46 auf der Zustromseite in den ringförmigen Durchgang 44. Das eingebrachte Pulver verteilt sich um den Umfang des Durchgangs 44, strömt unter der Schwerkraftwirkung und der Wirkung des Drucks der Trägergasströmung auf die Austrittsstelle 46 zu und verläßt den Durchgang 44 zum Pulverbrennpunkt hin.

Es wurde herausgefunden, daß bei einigen Arten von Pulvern und Einspeisungsmaterialien die Umfangsverteilung des Pulvers um den ringförmigen Durchgang 44 nicht so einheitlich und gleichförmig ist wie gewünscht. Um die Gleichförmigkeit dieser Pulververteilung um den Durchgang zu verbessern, wurde eine Staueneinrichtung 56 in Form eines inneren Vorsprungs von der Innenwandung der kegelstumpfförmigen Oberfläche 34 des Außengehäuses 30 gerade unterhalb des Einleitungspunkts vom Pulver durch die Injektionsöffnung 54 hinzugefügt. Die Fig. 3 zeigt das entsprechende Ausführungsbeispiel mit einer solchen Staueneinrichtung, wobei die übrigen Elemente den zuvor beschriebenen entsprechen. In diesem Ausführungsbeispiel wird fluidisiertes Pulvereinspeisungsmaterial durch die Injektionsöffnungen 54 in das Volumen hinter der Staueneinrichtung 56 eingeleitet. Dieses Volumen zwischen der Innenwandung des Außengehäuses und dem nach oben gerichteten Stauvorsprung füllt sich, und Pulver läuft über und

strömt über die Staeinrichtung 56 in den unteren Abschnitt des ringförmigen Durchgangs 44 und infolgedessen zum Austrittspunkt 46 in der zuvor beschriebenen Weise. Die Überlauf- oder Überströmrte des Pulvers ist im stabilen, fort dauernden Betriebszustand gleich der gesamten Strömungsrate des Pulvers durch die Pulverzufuhrrohre 50. Die Überlaufströmung ist umkreisförmig gesehen gleichmäßig und einheitlich, woraus eine umkreismäßig gleichmäßige Pulverströmung durch die Austrittsstelle 46 resultiert.

Eine axiale Gasströmung oder ein axialer Gasfluß wird durch die Düse 20 über eine axiale Gasströmungsleitung 60 erzeugt, die mit dem Innern der Düse 20 entweder direkt durch die Wandung der Düse 20 oder durch die Wandung des optischen Systems 14 wie im dargestellten Ausführungsbeispiel der Fig. 1 in Verbindung steht. Das axiale Gas strömt aus der Leitung 60 in das Innere des optischen Systems 14 und der Düse 20 auf das Substrat 16 hin. Die axiale Gasströmung schützt das optische System und die Düse vor Beschädigung und Zerstörung durch einen Rückfluß von Schmelzspritzern, Rauch und Hitze, kühlt die Düse und trägt auch dazu bei, daß das Einspeisungsmaterial auf das Substrat hin gerichtet wird.

In der bevorzugten Lösung wird die Oberfläche des Substrats 16 während des Schmelzens durch einen Schutzgasmantel geschützt, der das Substrat umhüllt und Oxydation verhindert. Das Mantelschutzgas oder kurz Schutzgas ist typischerweise ein inertes Gas wie Argon, das durch verschiedene Quellen zugeführt wird. Das axiale Gas und das fluidisierende Gas liefern einen Teil des Schutzgases, da sie normalerweise ein teilweise oder vollständig inertes Gas darstellen. Eine externe Gasströmung um die gesamte Düse 20 kann mit Hilfe eines nicht dargestellten externen Rohrs vorgesehen werden. Eine Schutzmantelgasströmung kann durch die Vorrichtung 10 selbst vorgesehen werden. Wie in Fig. 3 dargestellt ist, sind eine oder mehrere Schutzmantelgasrohre 70 an der Außenfläche des Außengehäuses 30 vorgesehen, wobei die Strömung des darin enthaltenen Schutzmantelgases auf das Schmelzbad 62 und dessen allgemeine Nachbarschaft gerichtet wird. Die Inertgasströmungen verhindern Oxydationen oder andere Umgebungseinwirkungen auf das Metall im Schmelzbad und im aufgetragenen Material bzw. der Schmelzraupe, während das Metall heiß ist.

Der Laserstrahl 13 wird vom optischen System 14 auf einen Brennpunkt 15 auf der Strahlachse 18 fokussiert. Der Brennpunkt 15 kann oberhalb, unterhalb der Oberfläche des Substrats 16 liegen oder damit zusammenfallen. Die Positionen der Düse 20 in bezug auf das Substrat 16 und des Strahlbrennpunkts 15 in bezug auf die Düse werden so eingestellt, daß die Energiedichte des Laserstrahls nahe des Brennpunkts 15 ausreichend groß ist, eine Region des Substrats unterhalb der Düse 20 unter Ausbildung eines Schmelz- oder Schweißbades 62 zu schmelzen. Das eingespeiste Material, das geschmolzen oder teilweise geschmolzen werden kann, bevor es das Schweißbad 62 erreicht, wird in dieses Bad 62 hineingerichtet und geleitet und mischt sich mit dem geschmolzenen Material des Bades. Wird das Substrat 16 in bezug auf die Vorrichtung 10 in der durch den Pfeil 64 angezeigten Richtung bewegt, so wird das Schweißbad 62 über die Oberfläche des Substrats 16 bewegt, wodurch das aufgetragene Material 22 bzw. die Schmelzraupe sich verlängern und dem Pfad der Vorrichtung 10 folgen.

Die Leistungsdichte des Laserstrahls 13 ist im Brenn-

punkt 15 am größten. Falls die Leistungsdichte an diesem Punkt oder einer anderen Stelle ausreichend groß ist, resultiert die Wechselwirkung zwischen dem axialen Gas, dem Trägergas, dem Pulver und der Energie des Laserstrahls in der Ausbildung eines Plasmas. Das Plasma ist eine hochgradig ionisierte Wolke aus Ionen und Elektronen, die innerhalb eines begrenzten Volumens eine außerordentlich hohe Temperatur erreicht. In diesem Volumen wird normalerweise ein Teil des Einspeisungsmaterials geschmolzen. Die Energie des Laserstrahls streift Elektronen von den plasmabildenden Gasatomen und den verdampften Einspeisungsmaterialatomen ab. Ist das Plasma einmal initiiert oder "gezündet", so wird es selbsterhaltend, falls die Gasströmung und die Strömung des Einspeisungsmaterials sowie der Laserstrahl aufrechterhalten werden. Die Vorrichtung 10 kann entweder mit oder ohne Plasmabildung betrieben werden.

Vorzugsweise bildet das feinzerteilte Einspeisungsmaterial beim Austritt aus der Düse 20 einen umgekehrten Konus. Dieser Einspeisungsmaterialkonus weist einen Brennpunkt auf, der eingestellt werden kann, d. h., der Einspeisungsmaterialbrennpunkt kann zur Düse 20 hin und von dieser wegbewegt werden. Eine solche Einstellung des Einspeisungsmaterialbrennpunkts wird durch Drehen des Innengehäuses 40 relativ zum Außengehäuse erzielt. Eine solche Drehung bewegt das Innengehäuse 30 axial und vergrößert oder verkleinert die Abmessungen des ringförmigen Durchgangs 44, insbesondere an dessen unterem Ende auf diese Weise. Wird der Durchgang 44 größenmäßig verkleinert, so werden der Einspeisungsmaterialkonus und sein Brennpunkt ebenfalls geändert. Der Einspeisungsmaterialbrennpunkt und der Laserstrahlbrennpunkt können so eingestellt werden, daß sie zusammenfallen, um das Einspeisungsmaterial zu schmelzen.

Zumindest ein Teil des feinzerteilten Einspeisungsmaterials wird normalerweise vollständig oder teilweise durch den Laserstrahl geschmolzen und andere Teile können beabsichtigt oder auch unbeabsichtigt ungeschmolzen bleiben. In einigen Anwendungen, wie z. B. bei der Anbringung verschleißwiderstandsfähiger Überzüge oder Coatings kann es nützlich sein, einen Teil des Einspeisungsmaterials ungeschmolzen zu lassen. Beispielsweise kann das Einspeisungsmaterial feinzerteiltes Keramikpulver umfassen, das, wenn in Form von Teilchen auf der Oberfläche des Substrats abgelagert, die Verschleißfestigkeit des Substrats erhöht wird.

Die folgenden bau- und funktionstechnischen Details eines Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Lösung werden nur als zusätzliche Information zur Erläuterung der Erfindung und nicht als einschränkende Merkmale angegeben. Der maximale Außendurchmesser des Außengehäuses beträgt ungefähr 63,5 mm (2,5 inches), und der Durchmesser einer Austreibungs- oder Ausstoßöffnung 24 beträgt etwa 3,175 mm (0,125 inches). Die Düse wird so betrieben, daß die Gehäuse 30 und 40 derart eingestellt sind, daß die Seite des ringförmigen Durchgangs 44 an der Austrittsstelle 46 etwa 1,52 mm (0,060 inches) beträgt. Die Gasströmungsrate des axialen Gases liegt zwischen 0,057 bis 0,4248 cm<sup>3</sup>/h (2 bis 16 cubic feet per hour). In einer typischen Betriebsbedingung beträgt die Strömungsrate des Pulvers etwa 7 g/min. Der Pulverbrennpunkt 48 wird so eingestellt, daß er mit dem Substrat am Schweißbad oder auch Schweißpuddle 62 zusammenfällt. Die Länge der Düse beträgt etwa 102 mm (4 inches), jedoch ist diese Dimensionierung unkritisch. Der Laser ist ein Kohlen-



dioxidlaser, der auf einem Leistungspegel von 100 bis 5000 Watt in einem gepulsten oder CW-Mode betrieben wird.

Entweder das Substrat oder die Düse oder beide werden so bewegt, daß zwischen dem Substrat und der Düse eine Relativbewegung vorliegt. Vorzugsweise ist die Düse fixiert, und das Substrat wird automatisch mit einem elektromechanischen Tisch mit X/Y-Achsenbewegung unter dem Substrat vorgeschoben, wobei die Bewegung unter programmierter Computersteuerung bezüglich der Geschwindigkeit und Richtung der Bewegung ausgeführt wird.

Eine Anzahl verschiedener Gase und Gasmischungen sind für axiale Gasströmung verwendet worden, wobei Argon, Stickstoff, Helium, Wasserstoff und Mischungen hiervon umfaßt sind. Argon wurde als Pulverträgergas verwendet. Eine Vielzahl metallischer und nichtmetallischer Einspeisungsmaterialien, einschließlich Keramiken, sind aufgebracht bzw. abgeschieden worden. Solche Materialien, die in die Schweißung abgeschieden werden können, umfassen Titanlegierungen wie Ti-6Al-4V, Wolfram, Kobaltlegierungen, Nickellegierungen sowie IN 718 und Keramiken.

Die vorliegende Erfindung liefert ein vielseitiges Werkzeug zum Aufbringen von Materialien auf Substraten. Obwohl die vorliegende Erfindung in Verbindung mit spezifischen Ausführungsbeispielen erläutert worden ist, ist unmittelbar klar, daß zahlreiche Änderungen und Variationen möglich sind, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen oder von der Erfindungsidee abzuweichen.

#### Patentansprüche

1. Laserschweißvorrichtung, gekennzeichnet durch eine Düse (20) mit einem kegelstumpfförmigen äußeren Gehäuse (30) und einem kegelstumpfförmigen inneren Gehäuse (40) geringerer Konusausmaße als das äußere Gehäuse und darin so eingepaßt, daß die Kegelstumpfachsen von Außen- und Innengehäuse zusammenfallen, wobei das Innengehäuse in bezug auf das Außengehäuse axial einstellbar ist und Außengehäuse und Innengehäuse einen konvergierenden ringförmigen Durchgang (44) zwischen sich definieren; einen Laser (12); ein optisches System (14), das dazu ausgelegt ist, den Strahl (13) eines Lasers (12) entlang der Kegelstumpfachsen von Außen- und Innengehäuse auf einen Brennpunkt (15) außerhalb der Düse zu richten; eine Gaszufuhranordnung (16), die mit dem Innern des Innengehäuses in Verbindung steht und eine Gasströmung vom Innengehäuse zum Brennpunkt des Lasers erzeugt; und eine Einspeisungsanordnung (53), die mit dem ringförmigen Durchgang des Innen- und Außengehäuses in Verbindung steht und dazu ausgelegt ist, in diesen Durchgang eine Strömung feinzerteilten Einspeisungsmaterials, gemischt mit einem Trägergas, einzuleiten.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (13) sich entlang der Mittellinie (32) des Innengehäuses (40) ausbreitet.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (12) ein Kohlendioxidlaser ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das optische System (14) einen Spiegel (17) zur Fokussierung des Laserstrahls (13) umfaßt.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, ferner gekennzeichnet durch eine Pulverstaeinrichtung (56), die innerhalb des ringförmigen Durchgangs (44) angeordnet ist.

6. Verfahren zum Aufbringen einer Schicht eines Einspeisungsmaterials auf einem Substrat, gekennzeichnet durch die Schritte des:

Einstellen eines Lasers und optischen Systems zur Fokussierung des Laserstrahls auf einen Brennpunkt, der ausreichend nah an der Oberfläche des Substrats liegt, daß eine Region des Substrats zur Ausbildung eines Schweißbades geschmolzen wird; und

Hinzufügens eines feinzerteilten Einspeisungsmaterials in das Schweißbad, wobei das Einspeisungsmaterial um den Umkreis des Schweißbades herum gleichmäßig eingebracht wird;

wobei der Schritt des Hinzufügens durchgeführt wird, indem eine Laserschweißdüse eingerichtet wird, die ein äußeres Gehäuse und ein inneres Gehäuse aufweist, die einen konvergierenden und einstellbaren ringförmigen Durchgang zwischen sich definieren, wobei das Einspeisungsmaterial der Düse am divergierenden Ende des Durchgangs zugeführt wird und zum konvergierenden Ende des Durchgangs befördert wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das feinzerteilte Einspeisungsmaterial, bevor es der Düse zugeführt wird, mit einem fluidisierenden Gas gemischt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß eine Strömung eines axialen Gases durch das Innere des inneren Gehäuses auf das Substrat hin gerichtet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das axiale Gas aus einer Gruppe von Gasen ausgewählt ist, die Argon, Stickstoff, Helium, Wasserstoff und Mischungen hiervon umfaßt.

10. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Einspeisungsmaterial aus einer Gruppe ausgewählt ist, die Titanlegierungen, Nickellegierungen, Kobaltlegierungen und Eisenlegierungen umfaßt.

11. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Brennpunkt des Lasers innerhalb des Substrats eingestellt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Brennpunkt des Lasers oberhalb des Substrats eingestellt wird.

13. Laserspritzdüsenanordnung, gekennzeichnet durch

(a) einen Düsenkörper (20) mit einem ersten und zweiten voneinander beabstandeten Endabschnitt und einem Strahldurchtrittspfad, der sich so dazwischen erstreckt, daß ein Laserstrahl (13) in diesen Durchtrittspfad durch den ersten Endabschnitt eintreten kann und durch den zweiten Endabschnitt aus dem Durchtrittspfad austreten kann;

(b) ein Gehäuse (30), das den zweiten Endabschnitt (40) umgibt und davon beabstandet ist und einen ringförmigen Durchgang (44) mit diesem Gehäuse bildet sowie eine Öffnung koaxial mit dem Strahldurchtrittspfad aufweist,

- durch die der Laserstrahl hindurchtreten kann;  
(c) eine Einrichtung (53), die betätigbar so mit dem Durchgang verknüpft wird, daß ein Pulver derart in den Durchgang gefördert wird, daß das Pulver und der Strahl an einer gemeinsamen Stelle konvergieren. 5
14. Anordnung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß  
(a) eine Einrichtung (56) zur gleichmäßigen Verteilung des Pulvers um den Durchgang herum diesem zugeordnet ist. 10
15. Anordnung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß  
(a) der zweite Endabschnitt (40) kegelstumpfförmig ist und 15  
(b) das Gehäuse (30) einen unteren Abschnitt aufweist, der sich zu dieser Öffnung (46) hin verjüngt und sich an die Form des zweiten Endabschnitts so anpaßt, daß er mit diesem einen Spalt gleichförmiger Ausdehnung schafft. 20
16. Anordnung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß  
(a) Einrichtungen vorgesehen sind, die betätigbar mit dem Körper (20) zur Bewegung des Körpers und hierdurch zur Positionierung des zweiten Abschnitts (40) relativ zum unteren Abschnitt (30) verknüpft sind. 25
17. Anordnung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß  
(a) eine erste Einrichtung (36) betätigbar mit dem Gehäuse (30) zu dessen Kühlung verknüpft ist. 30
18. Anordnung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß  
(a) eine zweite Einrichtung betätigbar mit dem ersten Endabschnitt (30) zum Kühlen dieses Endabschnitts verbunden ist. 35
19. Anordnung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß  
(a) eine Einrichtung mit dem Düsenkörper (20) zur Fokussierung des Laserstrahls (13) verbunden ist. 40
20. Anordnung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß  
(a) eine Laserstrahlerzeugungseinrichtung (12, 14) mit diesem Körper (20) gekoppelt ist. 45
21. Düse für eine Laserschweißplattierungsvorrichtung, gekennzeichnet durch:  
(a) eine Laserstrahlerzeugungseinrichtung (12, 14); 50  
(b) ein im wesentlichen zylindrisches, mit einer Öffnung versehenes Gehäuse (30) mit einem ersten Endabschnitt, der betätigbar mit der Erzeugungseinrichtung verbunden ist und einen Laserstrahl (13) aufnimmt, und mit einem zweiten Endabschnitt (40), der derart angrenzend an ein Werkstück (16) positionierbar ist, daß der Laserstrahl (13), der aus dem zweiten Endabschnitt austritt, auf das Werkstück gerichtet ist; 55  
(c) eine Aussparung (44) im zweiten Endabschnitt koaxial mit dieser Öffnung, wobei diese Aussparung eine Pulververteilungskammer mit einem Auslaß (46) aufweist, der ebenfalls koaxial bezüglich dieser Öffnung ist; 60  
(d) einen mit einer Öffnung versehenen Düsenkörper (20), der koaxial im Gehäuse (30) positioniert ist und einen Strahl aufnahmefähig durch-

- trittspfad aufweist, durch den der erzeugte Strahl (13) hindurchgeführt wird; und  
(e) eine Pulververteilungseinrichtung (56), die innerhalb dieser Kammer (44) vorgesehen ist und das Pulver darin derart verteilt, daß der Strahl und das Pulver aus dem Gehäuse austreten und an einer gemeinsamen Stelle konvergieren.
22. Düse nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß  
(a) der Körper (30) einen kegelstumpfförmigen Abschnitt aufweist, der an diesen Auslaß (46) angrenzend angeordnet ist;  
(b) der zweite Endabschnitt (40) sich zum Auslaß (46) hin verjüngt, um einen Spalt mit dem kegelstumpfförmigen Abschnitt zu bilden; und  
(c) eine Kühleinrichtung (36) betätigbar mit dem zweiten Endabschnitt verbunden ist.
23. Düse nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß  
(a) eine Einrichtung mit dem Körper (20) verbunden ist, die den Körper entlang dessen Achse so bewegt, daß der Spalt reguliert wird und hierdurch die Pulverströmung durch den Auslaß (46) gesteuert wird.
24. Laserschweißplattierungsverfahren, gekennzeichnet durch die Schritte des  
(a) Einstellens einer Laserdüsenanordnung mit einem zentralen Strahldurchtrittspfad und einer ringförmigen koaxialen Pulvererströungskammer;  
(b) Positionierens eines Werkstücks angrenzend an den Düsenanordnungsaußlaß;  
(c) simultanen Richtens des Strahls und Pulvers auf eine gemeinsame Stelle auf dem Werkstück, so daß der Strahl eine dünne Schicht des Werkstücks schmilzt und das Pulver innerhalb der geschmolzenen Schicht verteilt wird; und  
(d) Vorrückens der Düsenanordnung in bezug auf das Werkstück.
25. Anordnung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß  
(a) eine Einrichtung betätigbar mit dem Düsenkörper (20) verknüpft ist und den Körper entlang dessen Achse so bewegt, daß die Beabstandung zwischen dem kegelstumpfförmigen Abschnitt (30) relativ zum verjüngten Abschnitt (40) eingestellt wird und hierdurch die Pulverströmung durch den Auslaß (46) reguliert wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen



— Leerseite —

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

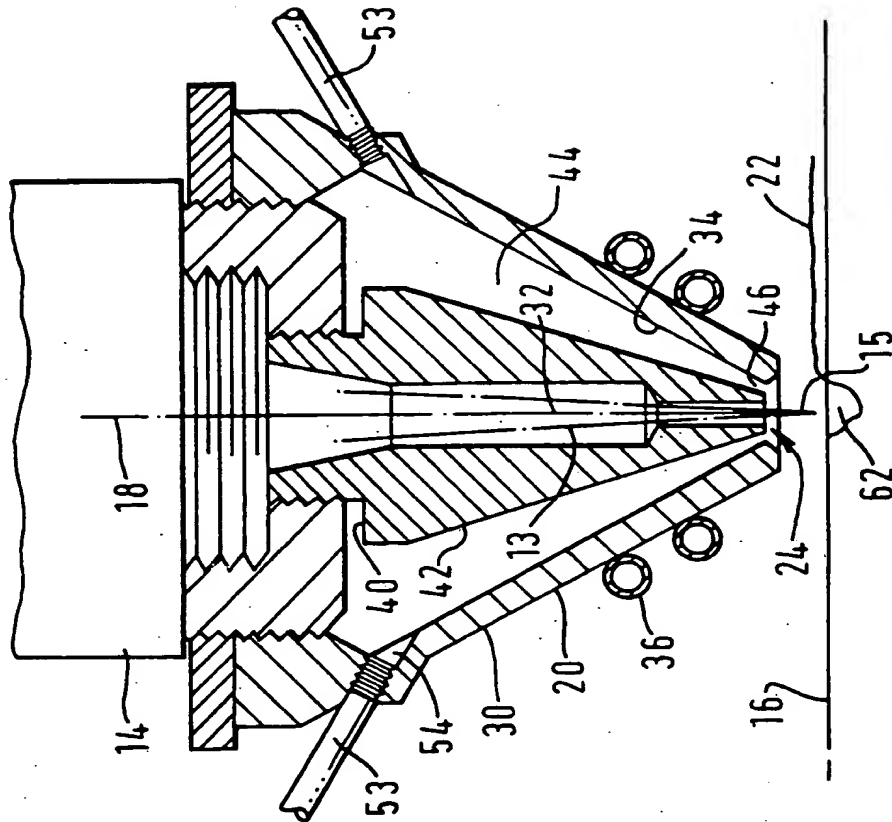


FIG. 2.

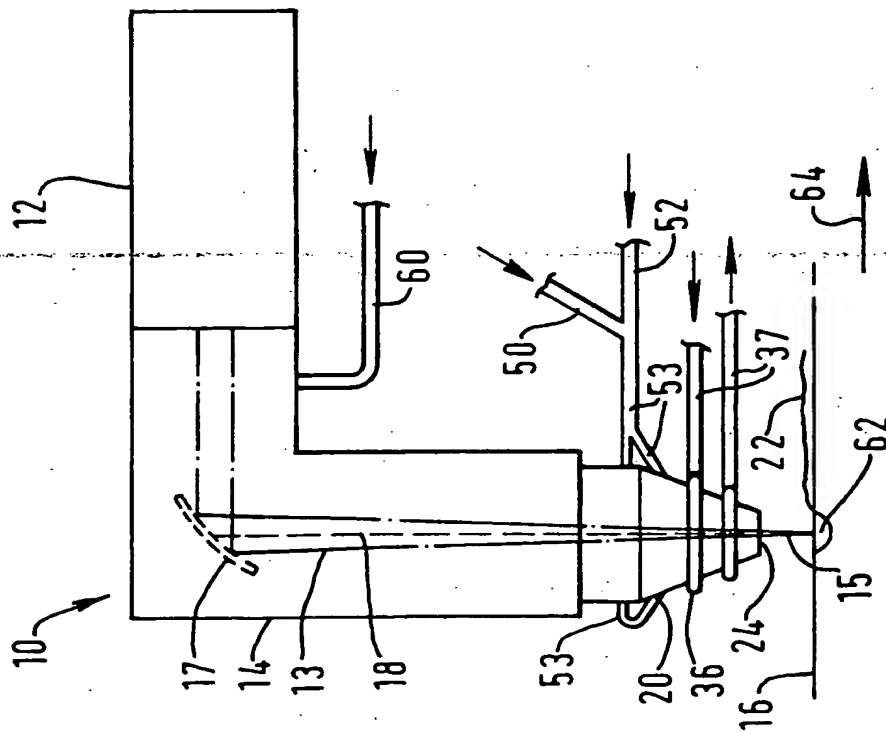


FIG. 1.

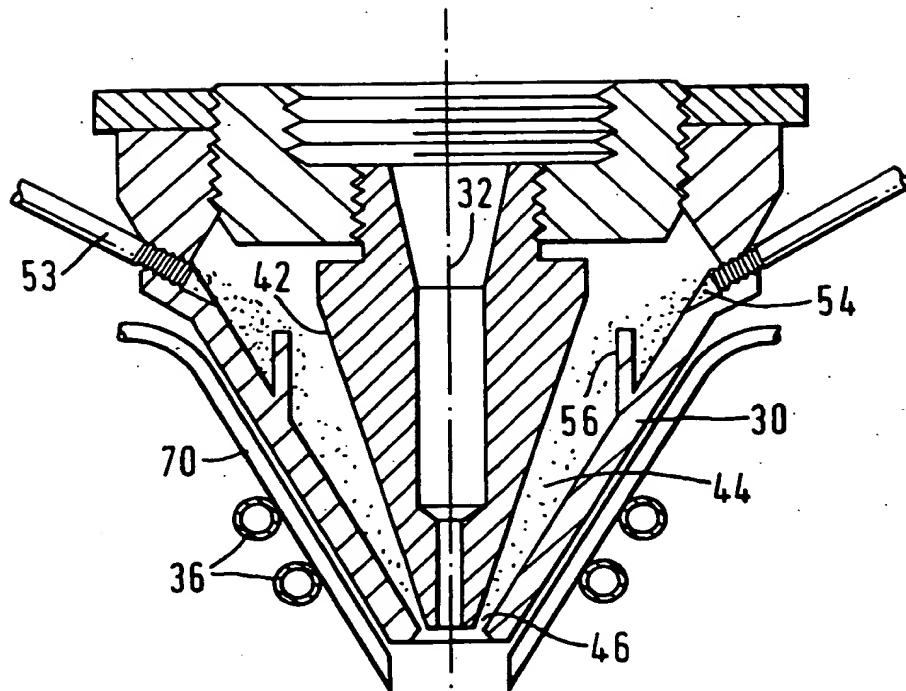


FIG. 3.